

Zeitschrift: Wechselwirkung : Technik Naturwissenschaft Gesellschaft
Band: 8 (1986)
Heft: 29

Artikel: Fehlerfreundlichkeit als evolutionäres Prinzip : Einschränkungen durch die Gentechnologie?
Autor: Weizsäcker, Christine von / Weizsäcker, Ernst Ulrich von
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-652854>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.11.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Fehlerfreundlichkeit als evolutionäres Prinzip

Einschränkungen durch die Gentechnologie?

Die Gentechnik macht sich anheischig, der Evolution nachzuhelfen. Aber ebenso wie in der gängigen Evolutionstheorie besteht die Gefahr, daß der Faktor „Selektion“ gegenüber den Faktoren „Isolation“ und „Mutation“ verabsolutiert wird.

Für die Autoren besteht darin die eigentliche Gefahr. Der eingeschlagene Weg in der gentechnischen Entwicklung führt dann zu einer extrem „fehlerunfreundlichen“ Technik. Aber gerade die „Fehlerfreundlichkeit“ der Evolution brachte die Vielfalt der Arten hervor. Der folgende Artikel wurde auf der Heidelberger Tagung „Die ungeklärten Gefahrenpotentiale der Gentechnologie“ als Vortrag gehalten.

von Christine und Ernst Ulrich von Weizsäcker

Evolution heißt für uns die Entwicklung der Fülle des Lebens. Die Fülle der Formen, ihre Angepaßtheit, ihre Geschichte, ihre Weiterentwicklung zu verstehen, war das Ziel der Biologen seit Linné, Cuvier, Goethe und Lamarck. Charles Darwin hat der Evolutionstheorie vor 120 Jahren ihre im Prinzip noch heute gültige Form gegeben, und er war wie alle Naturforscher seiner Zeit, erfüllt vom Eindruck der Fülle.

Einer der wichtigsten Wegbereiter Darwins, heute völlig vergessen, war Moritz Wagner, der schon zwanzig Jahre vor Darwin die richtige Beobachtung machte, daß zur Herausbildung der Artenfülle eine „räumliche Sonderung“, eine gegenseitige Nichteinmischung von Populationen unerlässlich sei. Dieses Wissen um den *Evolutionsfaktor* „Isolation“, das Darwin auf den Galapagosinseln so überzeugend bestätigt fand, steht klar in seinem 1859 erschienenen Hauptwerk über den Ursprung der Arten durch natürliche Selektion. Aber es wurde in dem Maße verdrängt, in dem das Schlagwort vom „Kampf ums Dasein“ die evolutionstheoretische Szene zu beherrschen begann. Dieses Schlagwort ist mit dem *Evolutionsfaktor* „Selektion“ assoziiert. Selektion aber bedeutet für sich genommen geradezu Schmälerung der Fülle. Erst durch die sich immer „wieder erneuernde Varianz – durch den *Evolutionsfaktor* „Mutation“ – sowie durch die der Selektion Schranken setzende Isolation kann Selektion zum Werkzeug der Entstehung von Fülle werden.

Der Evolutionsfaktor „Selektion“ war in der von Männern beherrschten Wissenschaft und Politik des späten 19. Jahrhunderts das alleinige Thema der populär werdenden Abstammungslehre, die denn auch den Namen Selektionstheorie erhielt. Sarah Jansen hat in ihrem lesenswerten Aufsatz „Magie und Technik“¹ auf die von der kämpferischen Vorstel-

lungswelt von Männern geprägte Wirklichkeitserfassung der Wissenschaft hingewiesen.

Die ideologische Verdrängung des Faktors „Isolation“, die groteske Überhöhung des Faktors „Selektion“ und die Herabstufung des Faktors „Mutation“ zu einer Handlangerfunktion der Selektion ist ein politisch folgenschweres Exempel für Sarah Jansens These.

80 Jahre nach Darwin wurde der Faktor „Isolation“ zwar wissenschaftlich wiederentdeckt, und zwar von Ernst Mayr². Das politische Unheil eines Sozialdarwinismus war aber längst passiert. Dieser Sozialdarwinismus hatte nichts anderes als einen destruktiven „Kampf ums Dasein“ auch unter Menschen und Rassen im Sinn, hat also den Evolutionsfaktor „Selektion“ verabsolutiert und hing dabei dem Irrglauben einer „Höherentwicklung“ des „Herrenmenschen“ an.

Heute, weitere 40 Jahre später, zeigt sich der Sozialdarwinismus im ökonomischen Gewand. Für die Chicago-Schule der Nationalökonomie³ geht es in der Weltwirtschaft hauptsächlich um die raschestmögliche Durchsetzung des ökonomisch „Tüchtigeren“ bis in den letzten Winkel der Erde. Und das wird verbunden mit dem Versprechen, daß es durch die andauernde Tüchtigkeitsselektion am Ende allen ökonomisch gut gehen wird.

In der Wissenschaft hat die Überhöhung des Faktors „Selektion“ noch ein anderes Gewand. Da gibt es oft die schwer bestreitbare Feststellung, daß das Überleben des Tüchtigsten eine tautologische Aussage sei; der Überlebende werde als der Tüchtigste definiert. Dies war zwar wissenschaftlich ein bedeutender Fortschritt, weil damit ehrlich eingestanden wurde, daß Tüchtigkeit streng genommen nur über die Vergangenheit ausgesagt werden kann („tüchtig waren die, deren Nachkommen heute noch leben“; die Saurier waren insofern untüchtiger als ihre unscheinbaren Zeitgenossen, aus denen später die Fülle der heutigen Insekten und Säugetiere entstand). Allerdings ist die logische Folge dieser „wertneutralen“ Evolutionstheorie, daß man dann auch die Zerstörung aller anderen Lebewesen durch einen primitiven Parasiten als „Evolution“ auffassen muß; und wenn der Parasit anschließend mangels Nahrung selbst zugrundegeht, ist das immer noch „Evolution“ im Sinne des Ausmerzens derer, denen die Tüchtigkeit zum Überleben unter den nun einmal gegebenen Bedingungen mangelt.

Wir finden, daß solche „Wertneutralität“ wissenschaftlich letztlich unergiebig ist und weder der Natur noch Darwin gerecht wird. Sie ist im übrigen politisch nicht weniger gefährlich als das „Herrenmenschen“-Geschwätz. Aus wissenschaftlichen wie aus politischen Gründen muß die Verabsolutierung des Evolutionsfaktors Selektion ganz dringend überwunden werden. Wir fordern zunächst einmal eine wissenschaftliche Renaissance der Evolutionsfaktoren „Mutation“ und „Isolation“, also der Faktoren, die die Evolution der Vielfalt und Fülle bewirkt haben.

Fehlerfreundlichkeit in der Technik

Das angekündigte Hauptstichwort für unsere Analyse ist die Fehlerfreundlichkeit, ein vor zehn Jahren von Christine von Weizsäcker zunächst in die damalige Technologiedebatte um die Kernenergie eingeführter Begriff⁴. Damals blickten Kernenergiegegner in naturwissenschaftlicher Engführung gebannt und besorgt auf alle Arten von Strahlengefährdungen vom Normalbetrieb der Kernreaktoren. Hiergegen konnte die Industrie (wie wir meinen, völlig zu Recht) einwenden, daß die Strahlenbelastung aus dem Weltraum, aus dem Urgestein und der Medizindiagnostik wesentlich größer sei und daß die Todesfälle pro Megawatt bei Windmühlen und Kohle bislang bedeutend höher lägen als bei Kernenergie. Ohne die Strahlengefahr verniedlichen zu wollen, fanden wir, daß die eigentliche Gefahr der Kernenergie darin liegt, daß sie nicht fehlerfreundlich ist.

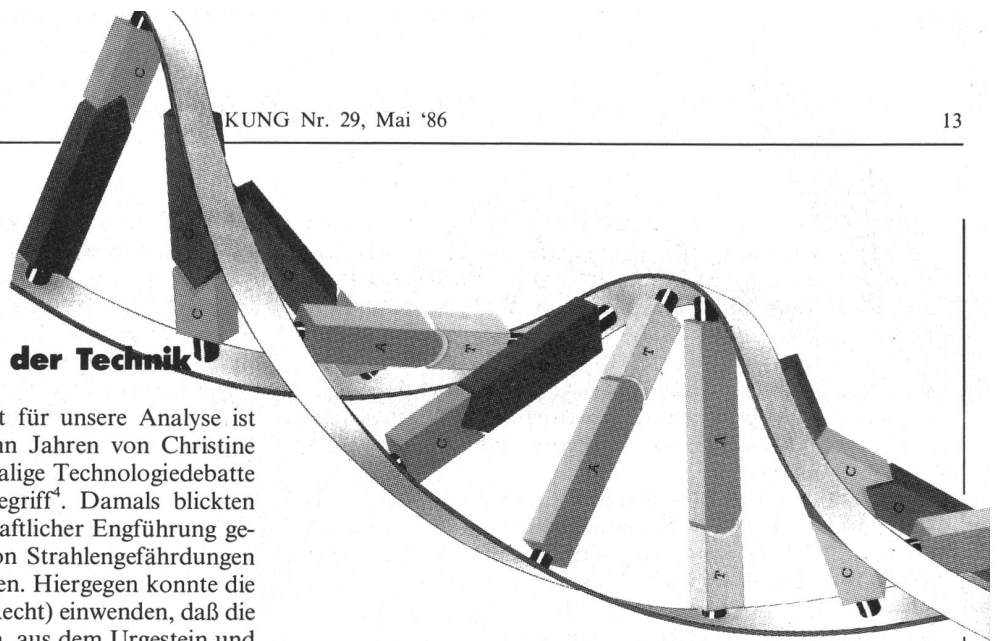
Robert Jungk beschrieb kurz darauf in seinem „Atomstaat“ sehr politisch und sehr anschaulich manches von dem, was wir meinen: Der Überwachungsaufwand für den Normalbetrieb und die Organisation der großflächigen Energieversorgung mit dieser Technik mußte totalitäre Züge annehmen, wollten Staat und Industrie sich nicht dem Vorwurf der Leichtfertigkeit aussetzen. Denn Fehler aller Arten, technische und menschliche, statistische, fahrlässige und böswillige, mußten bei dieser Art Technik unterdrückt werden. Solch fehlerfeindliche Technik, wenn sie sich flächendeckend durchsetzt, läßt den Bürger vor der Alternative: Gehorsam auf Jahrhunderte oder lauter Großunfälle.

Gewiß lassen sich kleinere statistische und menschliche Fehler sowie stümperhafte Sabotageakte durch Mehrfachsicherungen auffangen. Soweit Fehler unwirksam gemacht werden, kann man aber aus ihnen auch nicht lernen; das System ist insoweit nicht mehr innovationsfreundlich. Im Übrigen muß aber jedwede Sicherung durch bestimmte privilegierte Steuersignale überwindbar sein, sonst ist das System nicht mehr hinreichend steuerbar. Somit lastet auf Operateuren, Wartungspersonal und der Betriebsleitung trotz aller Sicherungen die Verantwortung für die Vermeidung von Großunfällen. Wenn diese Art Technik zum Regelfall wird und jeder sich davon abhängig fühlt, taucht unversehens die Forderung auf, daß man den perfekten Menschen braucht, um mit der fehlerfeindlichen Technik zu leben. Dann sind wir nicht mehr weit von der technisch legitimierten Menschzucht entfernt.

Evolution und Fehlerfreundlichkeit

Versuchen wir jetzt, Evolutionstheorie und Fehlerfreundlichkeit zusammenzudenken.

Die Populärwissenschaft der frühen siebziger Jahre hatte bereits die *Renaissance des Evolutionsfaktors* „Mutation“ eingeleitet. Jacques Monod hatte gerade sein brillantes, wenn auch tief pessimistisches Buch „Zufall und Notwendigkeit“ veröffentlicht. Manfred Eigen zog mit „Das Spiel“ nach und ließ Computer die optimale Fehlerhäufigkeit für das Erreichen bestimmter Evolutionsziele berechnen. Drake u.a. entdeckten „Mutatorgene“ (Defekte im Reparatursystem)⁵, die zu häufigen Mutationen ihrer Träger führen und die bei rasch veränderlicher Umwelt einen Selektionsvorteil bedeuten. Und Zufalls- oder Fehlergeneratoren waren der letzte Schrei in der Ingenieurwissenschaft⁶.



Das Spielenlassen von Fehlern und Selektion zur Erreichung eines vorgegebenen Evolutionsziels ist dabei noch eine recht primitive Form von Fehlerfreundlichkeit. Raffinierter ist das massenweise Aufbewahren und Durchmischen von Fehlern und deren zeitweiliger Schutz vor der Selektion. Schon 1930 hatte der Neodarwinismus nämlich eine wichtige Entdeckung über Mutationen gedanklich zusammengefaßt: Die meisten Mutationen sind schon lange vorhanden, bevor sie zum ersten Mal körperlich sichtbar werden. Sie sind „rezesiv“, d.h. sie werden nur sichtbar, wenn das betreffende mutierte Gen doppelt, vom Vater wie von der Mutter geerbt, vorliegt. Und das passiert bei seltenen Genen „quadratisch selten“. Mittels der Rezessivität bewahren so die Populationen große Mengen von „Fehlern“ auf, die die meiste Zeit vor dem Zugriff der Selektion geschützt sind: Rezessivität ist im höchsten Grade „fehlerfreundlich“. Vielfältiges Zusammensetzen von Milliarden von Fehlerkombinationen erlaubt es, ebensoviele Chancen auszuloten, ohne daß auch nur ein einziger Fehler unterwegs völlig verlorengeht. Er wird höchstens seltener, wenn er zu oft negativ wirkt.

Die *Renaissance des Evolutionsfaktors* „Isolation“ hat die Populärwissenschaft noch nicht erreicht. Es geht auch zunächst um ein rein wissenschaftliches Phänomen, die Speziation oder Artbildung: Können in laufend durchmischten Populationen ohne geographische Barrieren Mutationen eine Artenspaltung und insofern eine Vermehrung der Artenvielfalt bewirken? Die Lehrmeinung hierzu ist: nein, zumindest bei fortbewegungsfähigen Arten. Damit wäre „Isolation“, wie schon Moritz Wagner meinte, unverzichtbar für die Evolution der Artenvielfalt.

Stephen Jay Gould, Schüler von Ernst Mayr, geht noch weiter und sagt, daß in Großpopulationen überhaupt keine merkliche Evolution stattfindet⁷. Nur in Kleinpopulationen, z.B. auch an isolierten Rändern von Großpopulationen wird die statistische Wahrscheinlichkeit des Auftretens und der Wiederkehr seltener rezessiver Merkmale groß genug, daß eine nennenswerte Veränderung der Art oder eine Neubildung von Arten stattfinden kann. Sonderlinge und Sonderpopulationen, die die Potenz zur Weiterrevolution hätten, werden im Normalfall evolutionär unterdrückt. Nur durch Isolation gegenüber der Masse der Normalen scheint es zur Entwicklung von Vielfalt, zum Erobern neuer ökologischer Nischen und damit insgesamt zu höherer Komplexität der Ökosysteme zu kommen. „Isolation“ tritt auch ein, wenn die ganze Population durch Klimaveränderungen, Krankheiten oder Feinde dezimiert und dann oft auch noch zusätzlich räumlich zerschnitten wird. Indem jetzt viele Mutanten statistisch eher zur Expression kommen, werden also viele Wege ausprobiert, mit der Herausforderung fertig zu werden.

Andererseits kann die „Inzucht“ die Kleinpopulationen auch noch weiter schädigen und sogar den Tod der Art herbeiführen. Isolation wirkt also unterhalb gewisser kritischer Populationsgrößen nicht günstig für das Weiterleben und die Entstehung von Vielfalt, vor allem, wenn die Kleinheit der Population auf Dauer besteht. Durch erhöhte Genexpression liefert Isolation vorhandene Mutationen verstärkt der Selektion aus. Durch geographische Barrieren schützt Isolation andererseits Schwächere vor Stärkeren und damit vor dem Zugriff der Selektion.

Insgesamt ist Isolation neben Rezessivität vielleicht der wichtigste Faktor der Fehlerfreundlichkeit in der Evolution. Die historische Tatsache, daß Isolation für die Evolution genauso bedeutsam war wie Selektion und Mutation, kann auch mit folgendem – stilisierten – Satz ausgedrückt werden: Evolution ist auch das Überleben der weniger Tüchtigen. Eine Biologie, die sich nur um das zweifellos auch vorhandene Phänomen des Überlebens des Tüchtigsten kümmerte, wäre schlechte Evolutionsbiologie. In Wirklichkeit wird in der Natur – anders als bei Olympischen Spielen – überhaupt nicht festgestellt, wer *am tüchtigsten* ist, sondern es sterben diejenigen aus, die unter den gegebenen Bedingungen *zu untüchtig* sind.

Seit der Mensch in die Evolution eingegriffen hat, hat er die Fehlerfreundlichkeit der Natur wesentlich verändert, dieses keineswegs immer nur in negativem Sinne. In Mitteleuropa hat er in zweitausend Jahren eine große Zahl neuer Grenzflächen und neuer teilisolierter ökologischer Flecken (wie Lichtungen, Gärten, Teiche, Kleefelder) geschaffen und damit sogar die Artenzahl im ganzen vermehrt. Andererseits hat er auf allen Erdteilen das Großwild dezimiert. Viel mehr Arten sind aber dadurch zugrundegegangen, daß der Mensch weltweit alte Barrieren niedergedrückt und überallhin Kühe, Ziegen, Ratten, Weizen, Schnupfenviren und vieles andere gebracht hat. Das hat schon in vergangenen Jahrhunderten weltweit ganze Inselfaunen ruiniert. Seit Mitte der 50er Jahre ist die moderne Landwirtschaft hinzugekommen, die zu einer großflächigen Artenhomogenisierung und zu einer damit einhergehenden katastrophartigen Vernichtung von ökologischen Grenzen, Grenzflächen und Kleinbiotopen geführt hat. Weltweit, regional **und** lokal hat der Mensch einen zunehmend „erfolgreichen“ Krieg gegen die Schutzbarrieren von Tier- und Pflanzenarten, also gegen den Evolutionsfaktor „Isolation“ geführt.

Darüber hinaus hat er viele frühere Großpopulationen und die in ihnen aufbewahrten Mutationsvorräte auf Dauer dezimiert; oft fallen sie dabei unter die kritische Populationsgröße und sind dann durch anhaltende Inzuchteffekte in ihrem Bestand gefährdet. Somit hat der Mensch auch der Natur gegenüber den Faktor „Selektion“ in zerstörerischem Maße überbetont und die natürliche Fehlerfreundlichkeit in Gefahr gebracht.

Was ist Fehlerfreundlichkeit?

Bisher haben wir den Begriff „Fehlerfreundlichkeit“ einfach intuitiv benutzt. Wir sollten aber wenigstens ansatzweise versuchen, auch seine begriffliche Natur, etwa im Verhältnis zu dem Darwinschen Tüchtigkeits(fitness-)Begriff zu klären⁸. Fehlerfreundlichkeit ist kein einfacher Begriff. Es ist eine Art Synthese aus den bekannten Begriffen der **Fehlertoleranz** und der **Fehleranfälligkeit**. Organische Systeme sind zweifellos äußerst fehleranfällig. Man vergleiche etwa eine Katze mit einem Stein oder einem Fluß, welche weder von innen noch von außen in nennenswerten Umfang von Fehlern geplagt sind. Organische Systeme, insbesondere auch Einzelorganismen

sind aber zugleich außerordentlich **fehlertolerant**, etwa im Vergleich zu klassischen Maschinen. Man vergleiche etwa ein Auto, dem etwas Zuckerwasser ins Benzin gemischt wurde mit unserer Katze, der irgendjemand Hartgummi oder Verfaultes oder Scharfkantiges ins Fressen gemischt hat. Mit Schnüffeln, Tasten, Beäugen und Probebeißen sortiert die Katze die meisten Fehler aus; was sie dennoch an Unbekömmlichem herunterschlingt, kann sie meistens auch wieder herauswürgen; Schnittwunden und Magenverstimmungen heilen aus; und zu allem merkt sich die Katze den Gefahrenherd und seine Begleitumstände.

Die Fehlertoleranz geht noch weiter. In der Anatomie und Physiologie treffen wir sie auf Schritt und Tritt. Zunächst stellen wir überall **Redundanz** fest, bei Molekülen, Zellen, Organellen und Organen: Fällt eines aus oder wird es fehlerhaft, so bleiben genügend andere für die Normalfunktion. Das Zellenprinzip erlaubt so zugleich das **Nebeneinander** von Zellen verschiedener Funktion, wobei die Unterschiede ursprünglich auf Fehlern beruhten. Erst das Nebeneinander **verschiedener** Zellen erlaubt das Entstehen höherer Lebensformen. Die Fehlertoleranz in der Physiologie geht weiter. Es gibt das **Immunsystem** und die **Wundheilung**, um mit internen und externen Unfällen fertig zu werden. Und es gibt Sinnesorgane, die Fehler in allen möglichen Stadien entdecken und den Körper zur Abwehr aufrufen.

Fehlertolerant sind aber auch Steine und Flüsse. Der entscheidende Unterschied zwischen Steinen und Lebewesen ist also nicht die Fehlertoleranz, sondern die Fehleranfälligkeit der Lebewesen. Erst die Synthese von Fehlertoleranz und Fehleranfälligkeit macht die den Lebewesen eigene Fehlerfreundlichkeit.

In der Evolution der Organismen scheint nun Fehlerfreundlichkeit eine genauso wichtige Rolle zu spielen wie „Tüchtigkeit“. Der Evolutionsfaktor „Selektion“ bezieht sich auf die Tüchtigkeit und sorgt dafür, daß diese sich fortpflanzt. Mutation und Isolation beziehen sich auf Fehlerfreundlichkeit und sorgen dafür, daß diese sich fortpflanzt. Erfolgreich sind Arten und Ökosysteme, die beides haben, Tüchtigkeit und Fehlerfreundlichkeit. Tüchtigkeit bezieht sich eher auf die Vergangenheit („tüchtig *waren* die, deren Nachkommen heute noch leben“). Fehlerfreundlichkeit ist eher auf die Zukunft und ihre Überraschungen bezogen.

Tüchtigkeit und Fehlerfreundlichkeit stehen in einem komplementären Verhältnis zueinander. Beide sind unerlässlich, aber sie begrenzen einander gegenseitig: Übergenaue Fitness für eine gegebene Situation ist ein Mangel an Fehlerfreundlichkeit und läuft auf Stagnation und auf Versagen bei neuen Herausforderungen hinaus; und ein Übermaß an Fehlerfreundlichkeit bzw. deren Komponente Fehleranfälligkeit ist ein Mangel an Tüchtigkeit und führt zum Zusammenbruch des Systems.

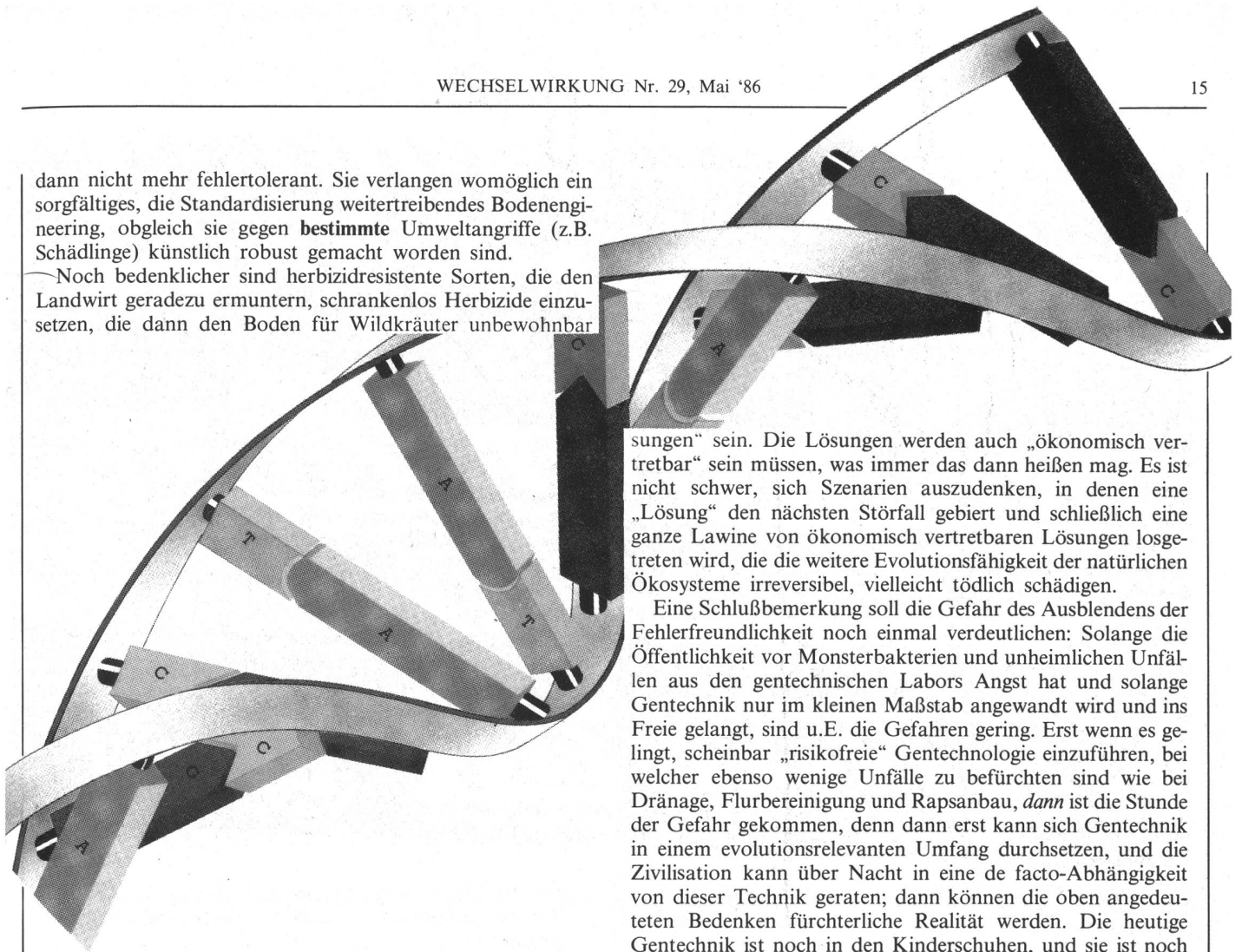
Gentechnologie

Die moderne Landwirtschaft hat in alarmierendem Maße in die Evolution eingegriffen. Flurbereinigung, Drainage, Vereinfachung der Fruchtfolge, Insektenvertilgung, Sortenstandardisierung haben allenthalben wildlebende Pflanzen und Tiere an den Rand gedrängt und schon manche Arten ausgerottet. Die Gentechnologie steht für uns im Verdacht, diesen gefährlichen Trend zu zementieren, womöglich zu verstärken.

Wenn Einzelgene (z.B. für Schädlingsresistenz, Salztoleranz, gute Proteinzusammensetzung) in eine Pflanzenzelle übertragen werden, diese Zelle dann kloniert wird und zum Ausgangspunkt für Saatgut wird, erhält man ganze Saaten, ganze Felder mit identischem Erbgut. Diese Züchtungen sind

dann nicht mehr fehlertolerant. Sie verlangen womöglich ein sorgfältiges, die Standardisierung weitertreibendes Bodenengineering, obgleich sie gegen **bestimmte** Umweltangriffe (z.B. Schädlinge) künstlich robust gemacht worden sind.

Noch bedenklicher sind herbizidresistente Sorten, die den Landwirt geradezu ermuntern, schrankenlos Herbizide einzusetzen, die dann den Boden für Wildkräuter unbewohnbar



machen und schon dadurch die Entfaltung der biologischen Fülle weiter beschneiden.

Gentechnologie verführt zu der Annahme, daß man jetzt die nach menschlichen Bewertungskriterien „tüchtigen“ Pflanzen und Tiere viel rascher von den „untüchtigeren“ trennen könne, und daß man insofern eine galoppierende Evolution inszenieren könne. Dies ist nach dem Wortverständnis einer durch Tüchtigkeit *und* Fehlerfreundlichkeit charakterisierten Evolution der Fülle ein Trugschluß. Es kann sogar ganz leicht ein Galopp in eine Sackgasse sein, aus der man mangels offengehaltener Optionen nicht mehr herauskommt.

Die technische Lösung für die Vorratshaltung von Optionen, die Genbank, ist rein quantitativ der natürlichen Population mit ihrem großen und fluktuierenden Genpool um Größenordnungen unterlegen. Die Genbank ist insofern weniger fehlerfreundlich als die natürliche Population.

Gentechnologie kann auch dann zum Evolutionsrisiko werden, wenn sie zu einer massenhaften direkten oder indirekten Freisetzung von Plasmiden führt, die die Artschranken freilebender Arten durchbrechen können; über die ökologisch-evolutionären Wirkungen hiervon kann man allerdings bestenfalls spekulieren.

Der ökonomische Selektionsdruck, der auf allen Produzenten, nicht zuletzt auf den Landwirten lastet, kann uns leicht in eine Abhängigkeit von gentechnisch erzeugten Kulturpflanzen mit gänzlich homogener genetischer Ausstattung versetzen. Eine solche Situation ist fehlerfeindlicher als zehn Kernkraftwerke. Tritt hier einmal ein Störfall auf, etwa eine Resistenz bestimmter Schädlinge gegen das in die Pflanze hineinmanipulierte Toxin, dann ist erstens der akute Schaden groß, und zweitens müssen dann schnellstens Abhilfe- und Rettungsmaßnahmen getroffen werden. Diese werden nach dem dann herrschenden „Stand der Technik“ wieder gentechnische „Lö-

sungen“ sein. Die Lösungen werden auch „ökonomisch vertretbar“ sein müssen, was immer das dann heißen mag. Es ist nicht schwer, sich Szenarien auszudenken, in denen eine „Lösung“ den nächsten Störfall gebiert und schließlich eine ganze Lawine von ökonomisch vertretbaren Lösungen losgetreten wird, die die weitere Evolutionsfähigkeit der natürlichen Ökosysteme irreversibel, vielleicht tödlich schädigen.

Eine Schlußbemerkung soll die Gefahr des Ausblendens der Fehlerfreundlichkeit noch einmal verdeutlichen: Solange die Öffentlichkeit vor Monsterbakterien und unheimlichen Unfällen aus den gentechnischen Labors Angst hat und solange Gentechnik nur im kleinen Maßstab angewandt wird und ins Freie gelangt, sind u.E. die Gefahren gering. Erst wenn es gelingt, scheinbar „risikofreie“ Gentechnologie einzuführen, bei welcher ebenso wenige Unfälle zu befürchten sind wie bei Drainage, Flurbereinigung und Rapsanbau, *dann* ist die Stunde der Gefahr gekommen, denn dann erst kann sich Gentechnik in einem evolutionsrelevanten Umfang durchsetzen, und die Zivilisation kann über Nacht in eine de facto-Abhängigkeit von dieser Technik geraten; dann können die oben angedeuteten Bedenken fürchterliche Realität werden. Die heutige Gentechnik ist noch in den Kinderschuhen, und sie ist noch fehlerbewußt, kleinräumig und insofern fehlerfreundlich. Die „risikofreie Gentechnik“ ist es nicht. Sie kann sich auf die Fülle der Natur verheerend auswirken. Aus ökologisch-evolutionstheoretischer Sicht liegt die Gefahr der Gentechnologie weniger in ihren Unfällen und Mißerfolgen als in ihrem flächendeckenden Erfolg.

Literatur

- ¹ Sarah Jansen, Magie und Technik, in: Frauen gegen Gentechnik und Reproduktion, DIE GRÜNEN (Hg.), Verlag Kölner Volksblatt, 1986, S. 149 — 163.
- ² Ernst Mayr, z.B. Animal Species and Evolution, Harvard University Press, Cambridge 1963.
- ³ Z.B. Milton and Rose Friedman, Capitalism and Freedom, University of Chicago Press, Chicago 1962.
- ⁴ Christine von Weizsäcker, Vom Umgang mit der Gefahr, Manuskript und Vortrag bei der Evangelischen Studiengemeinschaft, Heidelberg 1976.
- ⁵ J. W. Drake, The Genetic Control of Spontaneous and Induced Mutation Rates in Bacteriophage T4. Genetics (Suppl.) 73, S. 45 — 64, 1973.
- ⁶ Neben einer reichen Literatur über nicht-deterministische Maschinen, Zufallsgeneratoren, „Ordnung aus Unordnung“ (v. Foerster) gab es sogar explizite Evolutionstechnik, z.B. Ingo Rechenberg, Evolutionsstrategie-Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution, Frommann Holzboog, Stuttgart 1973.
- ⁷ Stephen Jay Gould, Is a new and general theory of evolution emerging? Paleobiology 6, S. 119 — 130, 1980, abgedruckt in: John Maynard Smith (Ed), Evolution Now. A Century after Darwin, Freeman, San Francisco 1983, S. 129 — 145.
- ⁸ Christine und Ernst Ulrich von Weizsäcker, Fehlerfreundlichkeit, in Klaus Kornwachs (Hg.), Offenheit — Zeitlichkeit — Komplexität — Zur Theorie der Offenen Systeme, Campus, Frankfurt 1984, S. 167 — 201.

Der vorliegende Artikel wird demnächst zusammen mit den anderen Vorträgen des Heidelberger Fachsymposiums „Die ungeklärten Gefahrenpotentiale der Gentechnologie“, hrg. vom BUND, Öko-Institut, Altner Stiftung, Deutsche Umweltstiftung, Stiftung Mittlere Technologie, im J. Schweitzer Verlag, München erscheinen.

Wir danken dem Verlag für die freundliche Genehmigung des Abdruckes.